

焊接桥梁的研究

(一)

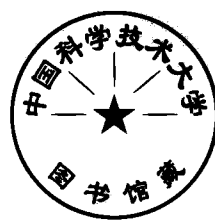
山 海 关 桥 梁 厂
唐 山 铁 道 学 院 等 合 編
兰 州 铁 道 学 院

人 民 铁 道 出 版 社

焊接桥梁的研究

(一)

山海关桥梁厂
唐山铁道学院等合编
兰州铁道学院



人民铁道出版社

一九五九年·北京

本書內容为1958年国家科学研究計劃关于焊接桥梁的研究中“大型鋼焊桁梁的研究”的总结报告的主要部分。

本專題总结为山海关桥梁厂、唐山铁道学院、蘭州铁道学院、铁路专业设计院标准设计处等单位所编写，参加工作者有胡春农、黄棠、黄劍源、袁文权、居初等同志；本报告编写后，曾經杜欣清、方璜、錢冬生、張春华、安定国等同志加以校閱。內中許多附图由張偉同志协助描繪。

本报告可供鋼結構和桥梁研究人員、工程师、大專学校教师 and 研究生参考之用。

焊接桥梁的研究

(一)

山海关桥梁厂 唐山铁道学院 蘭州铁道学院等合編

人民铁道出版社出版

(北京市霞公府17号)

北京市書刊出版业营业許可証出字第010号

新华书店发行

人民铁道出版社印刷厂印

(北京市建国門外七聖庙)

書号 1378 开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印張 $3 \frac{1}{8}$ 插頁3 字数65千

1959年5月第1版

1959年5月第1版第1次印刷

印数 0,001—2,200 册 定价 (7) 0.31 元

目 录

一、前言

二、三号桥梁鎮靜鋼 (CT.3M) 的可焊性研究	1
(一) 經過概況	1
(二) 基本鋼料的化学成分、机械性能和金相分析	3
(三) 基本鋼料的可焊性試驗	5
(四) 补充性的鋼料可焊性試驗	10
(五) 結論和意見	14
(六) 后記	14
三、試制44公尺跨度鐵路鉚焊桁梁的設計和構造	15
(一) 設計原則	15
(二) 設計資料及主要尺寸	15
(三) 設計說明	16
(四) 重量及其它数据	17
四、施焊机具及設備情况	18
(一) 自动电焊机及电源綫路	18
(二) 焊接和拼装胎型	20
(三) 量具	22
(四) 其它	23
五、鉚焊桁梁工厂制造經驗	23
(一) 鋼料的可焊性試驗	23
(二) 鋼板的加工	24
(三) 杆件的組装和焊接	24
(四) 杆件的变形和修正	28
(五) 制造中发生的問題及其解决方法	30
(六) 厂內試装	33
(七) 質量鑑定	35
六、主桁桿件的靜載試驗研究	36
(一) 試驗目的	36
(二) 試驗方法和試驗經過	36
(三) 試驗結果的分析	40

(四) 結論.....	43
七、縱梁的动載試驗研究.....	43
八、焊縫鋼的試驗研究.....	44
九、結論及今后意見.....	46
附录一、跨度44公尺鉄路鉚焊桁梁設計构造图	
附录二、跨度44公尺鉚焊桁梁鋼料可焊性試驗記錄	

一、前 言

在武汉长江大桥建成之后，我国在桥梁建筑的一些方面已经达到了世界先进水平。为了更进一步贯彻党中央提出的多、快、好、省地建设社会主义的总路线，今后我国钢梁制造的发展方向必须迅速地从铆接过渡到焊接，因此，对于采用焊接方法制造大跨度钢桁梁的研究在当前特别具有重大的意义。

根据国家科学研究计划，由海关桥梁厂和唐山铁道学院共同负责，承担了“大型铆焊桁梁”的研究和试制任务。自从1957年第二季度开始工作以来，在党的领导下，通过伟大的整风运动，参加此项工作的全体同志在总路线的鼓舞下，都以冲天的干劲，发扬了敢想、敢说、敢做和敢于创造的共产主义风格，克服了种种困难，战胜了右倾保守思想和自卑感，通过一年的苦干，胜利地完成了研究任务，同时试制成功我国第一孔铁路铆焊桁梁，为我国大跨度桥梁的建造开辟了新的道路。

铆焊桁梁试制工作从1958年3月开始，于6月中旬制造成功。在试制中，海关桥梁厂党委及领导上确定将它作为试验田，由书记亲自挂帅，厂长亲自领导，并且发挥了群众智慧和集体力量，贯彻了教育、生产、科学研究三结合的方针，因此，才有可能在短短的三个月中取得这样巨大的成绩。

在研究与试制过程中，铁道部技术局、铁道科学研究院、沈阳桥梁工厂及专业设计院标准设计处等单位经常对我们支持和帮助，发扬了共产主义大协作的风格，在一年中，我们先后召开了六次大型铆焊桁梁研究会议，讨论解决了许多试制研究中的关键问题，大大促进了铆焊桁梁研究工作的开展，有力地保证了铆焊桁梁试制的成功。

1958年7月在海关桥梁厂举行铆焊桁梁技术鉴定会议，全桥质量经过铁道部有关单位鉴定，认为完全满足要求。

第一孔铆焊桁梁试制研究的成功，是我国制造钢梁达到国际水平的又一标志，同时也为我国采用高强度低合金钢焊接杆件的大跨度桥梁打下了良好的基础。

二、三号桥梁镇静钢 (CT.3M) 的可焊性研究

(一) 经过概况

按照铁路桥涵设计规范制造焊接钢桥需用标号为M16C的钢。但在1957年进行大型铆焊桁梁专题研究时，我国M16C存料不多，且主要只有12公厘和50公厘两种板厚，不足以试制铆焊桁梁。如果等待新订货到来势将延误试制的时间。但由发展

史上看，苏联以前曾用三号桥梁鎮靜鋼制成了許多焊接板梁和桁梁，其中并包括全焊桁梁。1947年的苏联焊接桥梁暫行規程（ТУПИМ-СВ 47）中关于鋼料的規定是（第81条）：施行焊接的杆件应采用合乎苏联国定标准12535—38規定的三号桥梁鎮靜鋼，其含炭量不得大于0.20%，含矽量不得大于0.25%，并須合乎巴頓电焊研究院关于測定三号桥梁鋼可焊性的暫行須知中各項要求。1953年苏联頒布新国定标准6713—53，其中規定了对鉚接桥梁用СТ.3М号鋼及焊接桥梁用M16C号鋼的不同要求，所以后来新頒布的焊接桥梁設計及制造規範（ТУПИМ-СВ-55）中規定焊接桥梁須用M16C号鋼，而不必进行可焊性試驗。我們认为在1957年我国条件下，可以对СТ.3М号鎮靜鋼进行可焊性試驗。如果可焊性試驗合格即用以試制第一孔鉚焊桁梁，以求早日掌握这方面的先进技术。当时山海关桥梁厂中存有武汉长江大桥余料，大部份都是СТ.3М号鎮靜鋼；利用它来进行試制完全是可能的。

1957年6月下旬在山海关桥梁厂举行大型鉚焊桁梁第一次會議时，各方面一致同意并支持对СТ.3М鎮靜鋼进行可焊性試驗并用以进行試制大型鉚焊桁梁的作法。因跨度44，55公尺的鉚焊桁梁中实际会遇到厚10、12、16、20、25公厘的鋼板，大桥余料中沒有厚12公厘的而M16C存料中恰巧有此厚度，故决定对厚10、16、20、25公厘的大桥余料进行可焊性試驗；同时并对厚12公厘的M16C号鋼进行同样的試驗，以資比較。实际試驗用的基本鋼料主要是大桥余料的料头，其鋼号及炉号如下：

厚10公厘鋼板，鋼号为СТ.3М，炉号为 13369

厚12公厘鋼板，鋼号为 M16C，炉号为 109514

厚16公厘鋼板，鋼号为СТ.3М，炉号为 50052

厚20公厘鋼板，鋼号为СТ.3М，炉号为 12382

厚25公厘鋼板，鋼号为СТ.3М，炉号为 54258

以上五种鋼板均为苏联产品，是按苏联国定标准6713—5 的要求生产的。

試驗所用自动电焊机为TC-17-МУ型；焊絲的标号为СВ-08-ГА；直徑5公厘，熔剂的标号为АН-348А，以上均为苏联产品。

在着手可焊性試驗时我們遇見了一些具体問題，因而查看了参考文献，对巴頓电焊研究院暫行須知中所規定的可焊性試驗作了一些变通处理。試驗結果，这批大桥余料全部通过了可焊性試驗；但部分試件的低温冲击韧性和时效后冲击韧性感，比M16C的标准为低。但在1951年苏联列宁格勒桥梁研究所論文集中，有一篇論文，根据不多的試驗結果，认为可焊性試驗中的冷脆性試驗不能很好地說明問題，而低温下和时效后的冲击韧性感則較能說明鋼料的可焊性。鋼料的可焊性究应如何判定，乃是目前尚未完全解決的問題，在上述情况下更增加了判定的困难。

1957年9月举行大型鉚焊桁梁第二次會議，討論了可焊性試驗的进行方式和結果。會議认为：

1. 我們所作的变通处理是合宜的；由試驗結果判断所选取的大桥余料已全部通过了巴頓电焊研究院暫行須知中所規定的可焊性試驗。

2. 上述文献中的論断虽有一定理由，但作为根据的試驗不多，尚不能认为是

最后的定論。然而我們應該更加慎重，多做些補助性的鋼料可焊性試驗，并再做些冲击韌性試驗。

会后我們本此精神，又进行了基洛夫工厂法試驗，硬度測定及焊縫鋼化学分析并对上次冲击試驗不合格各种板厚，重新进行冲击韌性試驗。各种試驗均获得良好結果，新做的冲击韌性試驗亦均达到对M16C的要求。因此我們認為大桥余料具有良好的可焊性，可用以試制大型鉚焊桁梁；但試制中仍应对不同炉号的鋼料分別仔細进行可焊性試驗。

(二) 基本鋼料的化学成分、机械性能和金相分析

1. 化学成分:

(1) M16C号鋼的化学成分应滿足表1规定的要求:

表1

炭	錳	矽	硫	磷	鉻	鎳	銅
0.12~0.20%	0.40~0.70%	0.2~0.25%	≤0.045%	≤0.040%	≤0.3%	≤0.3%	≤0.3%

(2) 原鋼料技术文件上所載化学成分为:

表2

板厚 (公厘)	鋼 号	炉 号	化 学 成 分 (%)							
			炭	錳	矽	硫	磷	鉻	鎳	銅
10	CT.3M	13369	0.16	0.51	0.18	0.038	0.021	0.05	0.10	
12	M16C	10514	0.15	0.49	0.18	0.025	0.017			
16	CT.3M	50052	0.17	0.53	0.25	0.030	0.020			
20	CT.3M	12382	0.17	0.61	0.19	0.040	0.016	0.05	0.15	
25	CT.3M	54253	0.17	0.47	0.21	0.030	0.015	0.04	0.05	0.18

(3) 由山海关桥梁厂进行檢查性化学分析的結果

表3

板厚 (公厘)	鋼 号	炉 号	化 学 成 分 (%)							
			炭	錳	矽	硫	磷	鉻	鎳	銅
10	CT.3M	13369	0.15	0.52	0.18	0.030	0.025	0.02	0.15	微量
12	M16C	10514	0.16	0.47	0.20	0.014	0.021	0.02	0.29	”
16	CT.3M	50052	0.17	0.54	0.23	0.017	0.024	0.02	0.17	”
20	CT.3M	12382	0.17	0.65	0.20	0.035	0.023	0.02	0.10	”
25	CT.3M	54258	0.17	0.48	0.21	0.025	0.020	0.02	0.24	”

(4) 結論：鋼料技术文件上所載化学成分，及山海关桥梁厂自行分析所得化学成分均滿足M16C的要求，因此由化学成分来判断，这批大桥余料可用以試制焊接桥梁。

2. 机械性能

(1) M16C号鋼各項机械性能应不低于表4規定数值：

表4

屈伏点 σ_r (公斤/平方公厘)	抗張强度 σ_b (公斤/平方公厘)	延伸率 δ (%)		断面收縮率 ψ (%)	冲击韌性 公斤—公尺/平方公分					
		δ_{10}	δ_5		常溫 a_K		低溫 (-20°C) a_K		时效后 a_K	
					縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向
23	38	22	26	50	8	7	4	3.5	4	3.5

(2) 原鋼料技术文件上所載各項机械性能指标如表5所示

表5

板 厚 (公厘)	鋼 号	炉 号	机 械 性 能						
			σ_r	σ_b	δ	ψ	a_K	a_K'	冷弯
10	CT.3M	13369	29.0	49.5	21.5	57.0	17.9	13.8	合格
12	M16C	109514	29.0	45	25~31	54~49	7.0	缺	”
16	CT.3M	50052	25.0	45.0	30.0	48	17.8	14.7	”
20	CT.3M	12382	29.5	45.0	24.0	51.5	17.6	9.7	”
25	CT.3M	54258	24	42.5	32.0	53.0	11.0	10.6	缺
			24.5	42.0	34.0	42.0	7.5	8.8	

(3) 比較后的意見：鋼料技术文件上所載屈服点 σ_r 抗張强度 σ_b 及延伸率 δ 值均已滿足M16C的要求，断面收縮率 ψ 有大部达到要求，小部分試驗結果不够标准，但相差不多，冲击韌性值可以說基本上全达到标准（7.0与7.5二值較8.0的規定值略低，但如系橫向試件則亦合格），不过缺少时效后冲击韌性值。

由以上情况看来，这批鋼料的机械性能与M16C号鋼亦大致相同，虽缺少一些試驗結果，但并不能因此而怀疑这批鋼料的可焊性，尤其是因为厚12公厘的M16C号鋼，技术文件上亦缺 a_K 及 a_K' 数值。

3. 金相分析

我們对上述五种厚度的鋼板，每种取縱向、橫向、平面方向的試件各一个，經磨光浸蝕后，放大94.5倍，制成金相照片以供观察分析。由于设备的限制，沒有进行夹杂物的偏光分析。

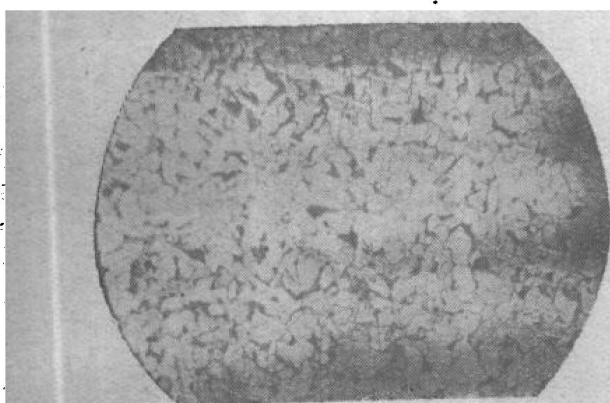
图2-1示五种厚度鋼板金相照片（平面方向的）。由制成的金相照片看来，炭份含量大致与技术文件中所載含炭百分率相符，炭份分布亦均匀，并无异常偏析

現象。有的板顆粒略粗，无带状組織，表示停軋溫度較高；有的板略有带状組織跡象，表示停軋溫度較低，但尚在許可的正常範圍之內。厚25公厘的板，带状組織較明显，虽尚在熱軋鋼的正常組織範圍內，但其冲击韌性值可能較低。

总的說來，这些鋼料的金相組織并无异常情况。



4) 板厚10公厘



5) 板厚12公厘



6) 板厚16公厘



7) 板厚20公厘



8) 板厚25公厘

图2—1 示五种厚度鋼板的金相照片（平面方向的）

（三）基本鋼料的可焊性試驗

1. 开裂性試驗：——其目的在于确定鋼料在焊接时是否有形成裂纹的倾向。試驗作法大意是：切取一定尺寸的小板二块，点焊組成T形試件。在縱向两端加焊角撑板，以增大試件的剛性，使其不易产生橫向的焊接变形；然后用自动电焊机以最大电流加焊T形連接的角焊縫（仅在无角撑板一側施焊），焊后檢查此角焊

縫。如發現裂縫，則鋼料即不合格。如未發現裂縫，應用焰割機將角撐板切下，然後用大鎚將T形試件打破，仔細觀察焊縫的折斷面；熱裂縫有特殊色彩與閃火顏色相像，故在折斷面上很容易看出，如果看出這樣的熱裂紋，則鋼料不合格。

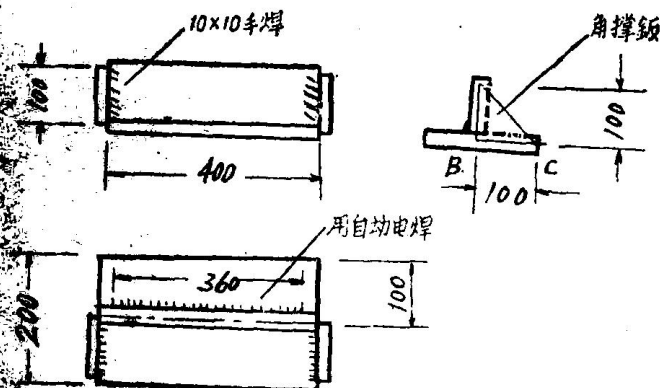


圖2—2 开裂性試驗的T形試件

所有試件在焊完並冷至常溫後，均經對焊縫表面進行詳細的檢查，結果無論用肉眼或用放大鏡檢查均未發現裂縫，於是我們切掉角撐板並用大鎚將試件打破。但是我們發現，按暫行須知上所示位置（角焊縫在下）甚難打破試件；而在另一位置（角焊縫在上）則試件較易打破。我們認為打破試件的目的是檢查熱裂縫是否存在，則打破時的安放位置應該沒有多大關係，遂改用角焊縫在上的位置。（以後在“自動電弧焊接”書上發現1953年以後巴頓電焊研究院亦贊成角焊縫在上的位置。）我們在鎚擊時採用9公斤重的大鎚，用人力鎚擊十多次，每次能量大約在20公斤公尺左右。試件打破後經仔細檢查亦未發現有熱裂縫，惟個別區段焊縫中有微小的氣泡，這可能是焊接工藝中的問題（熔劑中有水分等原因），可以由改善工藝措施求得解決。因此，我們認為這批鋼料通過了开裂性試驗。

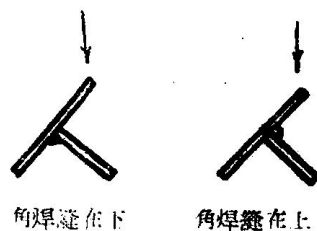


圖2—3 打破試件的位置

打破試件時，厚10公厘的試件及厚20公厘的試件從鋼料處斷開，把整個鋼板掀開一層，而焊縫本身無損傷。厚13、16、25公厘的試件則由焊縫處破壞，鋼材本身未傷。

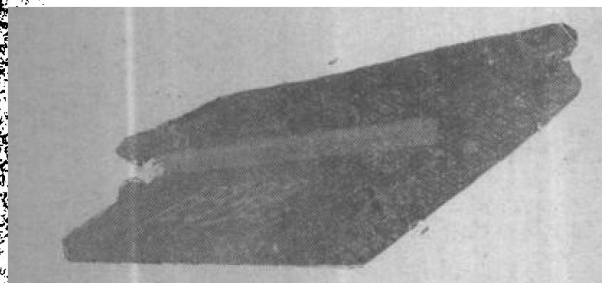


圖2—4 示开裂性試件打破後情況

用砂紙磨光，隨即用濾光紙作出鮑滿氏印痕，（溴化銀紙感光8分鐘後，浸入5%的硫酸溶液中，然後夾在濾紙間稍微弄干，再將稍微弄干了的照相紙復蓋在樣板磨

2. 硫印試驗：——其目的在於確定硫在鋼料中是否分布均勻，有無顯著的局部集中現象。因為硫的局部濃度如果大大地超過硫在鋼料中的平均含量，則此處焊接後可能出現熱裂紋。試驗作法是由欲試鋼板上切取樣板，樣板的縱向邊緣上用刨床刨去2~3公厘厚的一層。刨後邊緣

片上用手指抹拭以排出分泌的气体，同时并保证照相纸与样板之间并无相对移动；如此三分钟将照相纸取下在流动的水中漂净，再在10%的硫代硫酸钠溶液中定影十分钟，最后把印痕在流动的水中漂净，再使之干燥，印痕上黑暗的地方相当于硫集中的地方）。

我们对每一种厚度的钢板各做两个试件，五种板厚共作了十个试件。由制成的印痕照片看来，硫的分布很均匀，没有过度集中的情况。印痕一般均清晰调和，但个别照片上有颇大的白点等缺陷，这似乎是手印或油污斑，看来不是硫分布不均所引起的迹象，而是制作鲍满氏印痕工作中技术不熟练所引起的。我们认为这种结果完全可以满意，这批钢料已通过硫印试验。图2-5是几张硫印试验的照片。

3. 冷脆性试验：——其目的在于确定钢料在低温下是否有发生冷脆性破坏的危险。冷脆性试验中规定用阿斯尼斯 (АСНИС) 试件，其形状如图2-6所示。作法是将欲试的钢板切成 100×200 公厘的板，其上钻四个圆孔，孔中再用细三角铰刻成深2.5公厘的槽，在全部板厚上要求槽深均匀，然后用二条横向手焊将板固定在槽钢上，再用自动电焊机加焊一条纵向焊缝。这试件在进行试验前须先降温至 -40°C ，然后进行锤击，如锤击后孔间有裂纹发生，则钢料为不合格。如没有裂纹则钢料合格。我们所用试件的尺寸和制作顺序均依照暂行须知中的规定，但锤击能量与次数则稍有变动。试件受锤击之后即在试件表面及槽孔附近进行观察，所有五个试件无论用肉眼或用放大镜均未发现裂纹。为了证实没有裂纹，我们用焰割器将钢板沿纵向自动焊缝的边缘及槽孔外缘切下长方形板条，然后将此板条在钻孔有尖形槽口处弯折至断裂，经检查断口亦无裂纹迹象。因此我们认为这批钢料通过了冷脆性试验，但是有几个问题尚须详细说明。

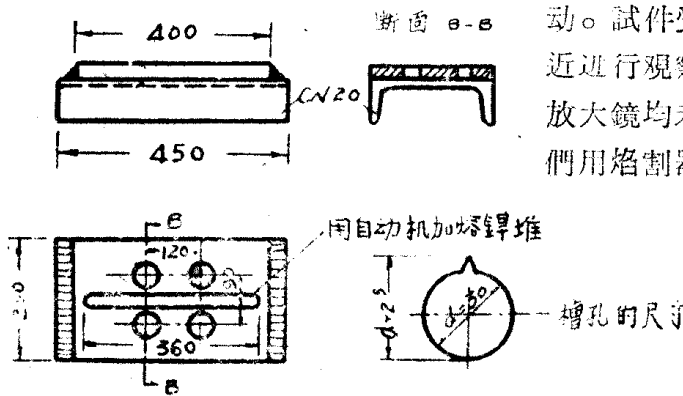


图2-6 АСНИС冷脆性试验用试件

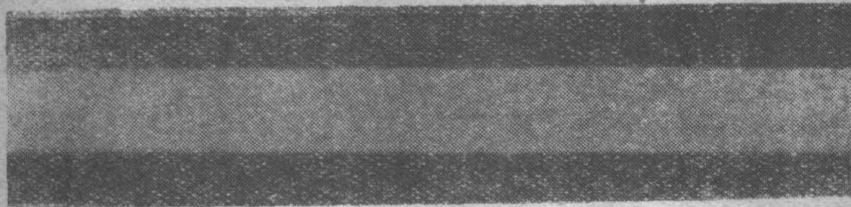
(1) 锤击能量问题：暂行须知中规定用400克重的锤，举起500—600公厘，猛击四次。由于锤的重量较轻，且猛击时所用人力有大有小，很难控制，实际上锤击能量的波动范围很大，所以这种锤击方式恐怕不很妥当。在“自动电弧焊接”一书上，载有同样的试验，而锤击能量则规定为5公斤公尺，且只锤击一次，看来较为合理。暂行须知是巴顿电焊研究院1947年制定的，“自动电弧焊接”则是该研究院的成员在1953年编订出版的，似乎是试验方法本身在这段期间中有了改进。因此，我们决定采用5公斤公尺的能量、锤击一次；实际上用的是8公斤大锤，举高62.5公分而自由落下。落锤地点选用四个钻孔的对称中心，即纵向焊缝二分之一长度处；因为接受力情况估计此处落锤最为不利。

(2) 锤击次数问题：板厚12、20、25公厘的试件锤击一次之后均未发现裂纹，于是将其余试件的锤击次数加多。16公厘厚板的试件计锤击二次，10公厘厚板

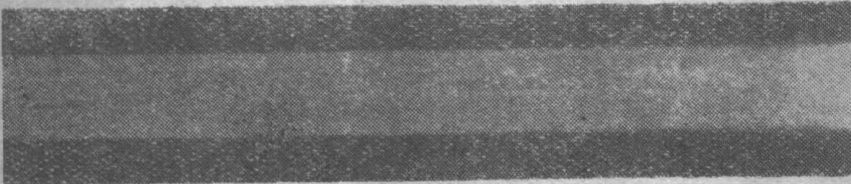
1)



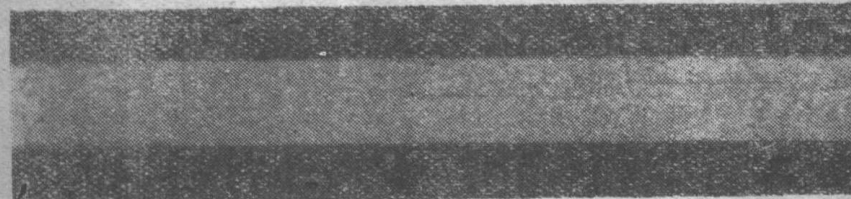
2)



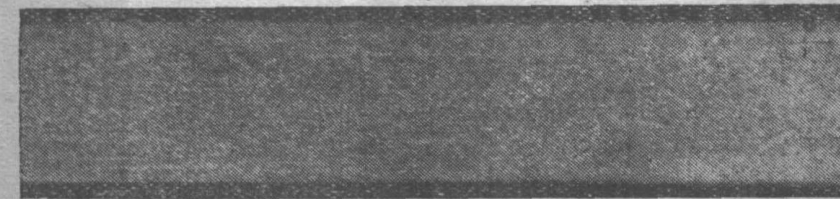
3)



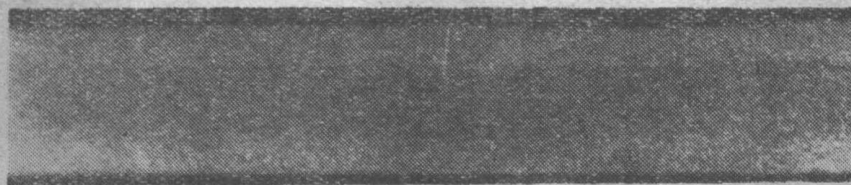
4)



5)



6)



7)



图 2—5 几張显示硫印的照片

的試件錘击四次，結果仍未发现裂紋。

(3) 降溫問題：我們做了大小两个矩形鉄槽，小槽放在大槽中間。小槽中放汽油和干冰（即固体二氧化碳）。大槽与小槽間則放冰块和食盐，試件浸沒在汽油中，并使其溫度保持为 -40°C 。由于設備簡陋，所以恆溫時間不能太长。我們試驗中每个試件大約为三分鐘左右（保持 -40°C ）。

(4) 槽口問題：“自动电弧焊接”書中規定尖形槽口的圓弧半徑用0.5公厘；1947年暫行須知中則規定用細三角銼刻成銳角。我們是按1947年暫行須知辦理的。想来刻成銳角比用小直徑圓弧更容易引起裂紋的出現。

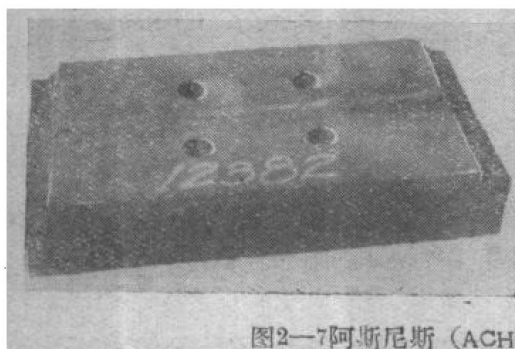


图2—7阿斯尼斯 (АСНИС) 試件及击錘。

1957年9月在山海关召开大型鋼焊接梁科学研究第二次會議时，大家一致認為我們对冷脆性試驗中錘击方式的变动是合理的。关于降溫和槽口問題的处理也是可以滿意的。既然五个試件均未出現裂紋，則應該認為这批大桥余料已通过了冷脆性試驗。

4. 初步結論和意見

如上所述，我們对这批鋼料基本上按照1957年暫行須知的規定进行了可焊性的檢驗，在个别細節上作了一些变通处理，这些处理在第二次會議上大家也認為是合理的。鋼料根据技术文件是鎮靜鋼，其炭和矽的含量亦合乎規定要求；所进行的开裂性試驗，硫印及冷脆性試驗都得到了肯定可焊性的結果。所以用1947年暫行須知的标准来衡量，應該認為这批大桥余料具有良好的可焊性，可用以制造焊接桥梁。

但用АСНИС試件进行冷脆性試驗的方法本身有一定缺点，文献中看到对它的評價是不一致的。列宁格勒桥梁研究所1951年論文集中有「关于焊接桥梁鋼料選擇問題」一文，其中述及曾按照1947年暫行須知的規定对三号鎮靜鋼及沸騰鋼进行冷脆性試驗，結果鎮靜鋼試件中出現裂紋者較多而沸騰鋼試件中出現裂紋者反而較少。該文作者認為这种現象是不合理的，从而推断說：这种試驗方式不能說明鋼料的实际性能，因此不应推荐在生产中实地应用。我們細看該文中所列試驗数据，发现他只做了三个沸騰鋼的試件，其中二个試件未出現裂紋，一个試件出現一条裂紋；至于鎮靜鋼的試件則做得較多，然而板厚与沸騰鋼試件相当的也只有三个試件，其中一个試件未出現裂紋，二个試件各出現一条裂紋。这样看来試件总数不多，而沸騰鋼与鎮靜鋼試件的相对优劣也不十分明显，則由此推断說这种試驗方法

全無價值，似乎是說服力不夠強的。“自動電弧焊接”書中對這種方法的論述是：

①能考慮到低溫，內應力、應力集中等不利因素的綜合影響，產生冷裂紋的條件接近實際情況是其優點；②但用手焊造成的內應力狀態無法控制，且可能在廣泛範圍內變動；對於厚度不同的板其試驗條件各各不同，以致厚度不一的同一批鋼料，彼此很難比較，這是它的缺點，這種看法似較合理。

我們認為：用 АСНІС 試件進行試驗，可以對鋼料的冷脆性得到一定的概念。然而由於有上述缺點，而且試驗中出現裂紋時的應力狀況與實際橋梁中的應力狀況，性質雖相近仍難進行精確比較。所以用這方法來決定鋼料能否用於焊接橋梁，實地決定取舍標準時就會感到困難。而且這種試件的制作和試驗比較複雜；如果按“自動電弧焊接”書中所述，在各種不同溫度下進行錘擊試驗，以確定裂紋開始出現的溫度，則工作將更複雜。所以在目前工廠條件下要檢定鋼料可焊性以便進行生產時，以不用 АСНІС 試件為宜。

這次我們所做的五個試件，錘擊後均未出現裂紋；這無論如何總是一個正面的結果。即使這種試驗方法還有缺點，不能很好地在「量」的方面說明問題，這種試驗結果也說明這批鋼料的可焊性良好，冷脆傾向不大，最多是對於可否用於橋梁難以立即作出明確的判斷而已。

根據以上分析，大型鉚焊桁梁科學研究第二次會議上，大家認為由試驗結果判斷，這批大橋余料符合1947年巴頓電焊研究院關於測定三號橋梁鎮靜鋼可焊性的暫行須知中的要求，故可參考該暫行須知而用於焊接橋梁中。但由於冷脆性試驗方法有一定缺點，我們宜慎重一些，再作些補充性試驗，其中尤以沖擊韌性試驗為主。

（四）補充性的鋼料可焊性試驗

我們根據工廠的條件，又進行了下列研究和試驗以判斷這批鋼料的可焊性：

1. 基洛夫工廠法試驗；2. 硬度試驗；3. 等效含炭量計算；4. 按化學成分進行鋼料可焊性分類；5. 焊縫鋼化學分析；6. 沖擊韌性試驗。茲分別說明如下：

1. 基洛夫工廠試驗——此法主要是測定鋼料焊後出現熱裂紋的傾向。作法大致是將鋼板試件中挖出圓盤形凹槽（不挖透），在不同熱處理條件下于凹槽中堆焊一條焊坑，而觀測其是否出現裂紋。我們根據文獻中的規定挖制凹槽後，在試件底部用流水冷卻而上面施焊，焊後不出現裂紋，證明這批鋼料可焊性良好。

2. 硬度試驗——此法主要測定近焊縫區出現裂紋的傾向，如果此區中硬度值不太大，則鋼料尚具有相當塑性，可以防止裂紋的產生。根據“Методы испытаний Сварных соединений и конструкций”，Погодин-Алексеев 等，1952版，47頁載，焊後熱影響區中容許的最大硬度值為 $H_B = 350$ 至 380 。我們試驗的結果，在焊縫附近熱影響區中測得的最大硬度值為 $H_B = 272$ 。遠較容許的最大硬度值為低。而基本鋼的硬度為 $H_B = 160 \sim 175$ ，與熱影響區最大硬度 272 的相對比值亦很正常。故由硬度來看，這批鋼料的可焊性良好，近焊縫區應該不致出現裂紋。

3. 等效含炭量法：按公式 $C_{\text{эKB}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{3} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{5}$ 計算結果，五種鋼板的等效含炭量均在0.26~0.29%範圍之內， <0.45 ；由此判斷，可焊性良好。

4. 按化學成分進行可焊性分類：（見“Методы испытаний сварных соединений и конструкций”，Погодин Алексеев等著18頁）五種鋼板計算結果： $Mn+Si+Cr+Ni$ 均小於1%。 $C<0.25\%$ ，故歸入可焊性良好一類。

5. 焊縫鋼化學分析：由文獻中看到，焊縫中 $\frac{Mn}{S}$ 比值小於10.3值，不免出現熱裂縫。欲使焊縫中不出現熱裂縫，則焊縫鋼中含炭量應 $\leq 0.14\%$ ，含矽量 $\leq 0.25\%$ ，含硫量 $\leq 0.05\%$ ，含磷量 $\leq 0.045\%$ 。我們分析的結果如下：

表 6

板 厚 (公厘)	鋼 號	爐 號	焊縫鋼化學成分(%)					Mn/S 比值	備 注
			炭	錳	矽	硫	磷		
10	CT.3M	13369	0.11	1.07	0.20	0.036	0.036	29.8	
12	M16C	109514	0.08	0.71	0.20	0.031	0.028	22.9	
16	CT.3M	50052	0.08	0.77	0.22	0.037	0.020	20.8	
20	CT.3M	12382	0.13	0.73	0.14	0.035	0.018	20.8	最大電流
20	CT.3M	12382	0.13	0.80	0.16	0.035	0.028	22.8	正常電流
25	CT.3M	54258	0.14	0.65	0.18	0.032	0.024	20.3	

注：20板厚按最大電流及正常電流兩種施焊狀況，各取焊縫鋼進行分析，結果用正常電流時Mn/S比值較大。

以上各 $\frac{Mn}{S}$ 比值均遠遠大於10.3，而炭、矽、硫、磷含量亦符合上述限制，說明焊縫中不致出現熱裂縫。

6. 沖擊韌性試驗：——為了保證不致發生脆性破壞，鋼料應該有一定的沖擊韌性值。橋梁暴露出室外，冬季在低溫條件下工作；焊接時鋼料經歷劇烈的溫度變化和化學變化，有因時效作用而變脆的危險。蘇聯固定標準 6713—53 中規定：CT.3M 號鋼須保證常溫下及低溫下（ -20°C ）的沖擊韌性值，而M16C號鋼則須保證低溫下及時效後的沖擊韌性值，其具體要求如下：

表 7

鋼材種類 試 件 方 向		沖擊韌性值（公斤公尺/公分 ² ）應不小於		
		正常溫度下 a_K	低 溫 下 (-20°C) a_K'	時效後 a_K''
鋼板及寬扁鋼	縱向試件（平行軋輦方向）	8	4	4
	橫向試件（垂直軋輦方向）	7	3.5	3.5
型 鋼	縱向試件	10	4	5

表 8

板厚 (公厘)	鋼 号	炉 号	常 温 (24°C)				低 温 (-20°C)				时效后冲击值(公斤-公尺/平方公分)			
			冲击值(公斤-公尺/平方公分)		冲击值(公斤-公尺/平方公分)		冲击值(公斤-公尺/平方公分)		冲击值(公斤-公尺/平方公分)		冲击值(公斤-公尺/平方公分)		冲击值(公斤-公尺/平方公分)	
			縱	向	橫	向	縱	向	橫	向	縱	向	橫	向
			實驗值	容許值	實驗值	容許值	實驗值	容許值	實驗值	容許值	實驗值	容許值	實驗值	容許值
10	CT.3M	13369	18.2	8	6.5*	7	13.8	4	4.9	3.5	12.1 作廢 11.5 12.9	4	3.8 4.1 5.0 4.1	3.5
12	M16C	109514	16.2	8	9.2	7	11.5 作廢	4	14.5 4.7	3.5	6.0 7.5 7.5 3.9*	4	2.9 4.4 4.5 6.3	3.5
16	CT.3M	50052	13.8	8	7.2	7	8.1 7.5	4	作廢 4.0	3.5	7.0 6.4 8.9 4.5	4	4.4 4.8 5.6 6.9	3.5
20	Cp.3M	12382	13.8	8	4.2*	7	8.7 8.5	4	3.2* 2.5*	3.5	10.0 3.3* 10.5 9.2	4	8.8 3.0* 3.3* 2.8*	3.5
25	CT.3M	54258	12.0	8	9.0	7	0.8* 1.0*	4	1.2* 1.0*	3.5	2.0* 8.6 1.8* 1.1*	4	6.5 4.5 2.8* 2.5*	3.5

注: 1 *符号表示該冲击值不合格。

2 五種板厚作常溫冲击一次, 低溫冲击二次, 时效后冲击四次; 但有部分試件因制作及試驗操作不当, 而未得出試驗結果。